

*Досліджено вплив плазмохімічно активованої води на функціональний стан *Riccia fluitans*, *Létna minor* L., *Paramecium caudatum*, *Artemia salina* і *Cyprinus carpio*. Визначено позитивну дію плазмохімічно активованої води на біологічні об'єкти. Встановлено основні показники для кожного методу біотестування. Отримані результати доповнюють відомості щодо безпечності використання плазмохімічно активованої води як компонента харчового ланцюга*

Ключові слова: плазмохімічно активована вода, біотестування, гідробіонти, газорозрядна візуалізація

*Исследовано влияние плазмохимически активированной воды на функциональное состояние *Riccia fluitans*, *Létna minor* L., *Paramecium caudatum*, *Artemia salina* и *Cyprinus carpio*. Определено позитивное действие плазмохимически активированной воды на биологические объекты. Установлены основные показатели для каждого метода биотестирования. Полученные результаты дополняют сведения о безопасности использования плазмохимически активированной воды как компонента пищевой цепи*

Ключевые слова: плазмохимически активированная вода, биотестирование, гидробионты, газоразрядная визуализация

БІОТЕСТУВАННЯ ПЛАЗМОХІМІЧНО АКТИВОВАНОЇ ВОДИ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІДРОБІОНТІВ

О. А. Піоваров

Доктор технічних наук, професор
Кафедра технології неорганічних речовин та екології
Український державний
хіміко-технологічний університет
пр. Гагаріна, 8, м. Дніпро, Україна, 49005
E-mail: apivo@ua.fm

С. Ю. Миколенко

Кандидат технічних наук
Кафедра технології зберігання і переробки
сільськогосподарської продукції*
E-mail: svetlana.mykolenko@gmail.com

О. В. Гончарова

Кандидат сільськогосподарських наук, доцент
Кафедра водних біоресурсів та аквакультури*
E-mail: anelsatori@gmail.com

*Дніпропетровський державний
аграрно-економічний університет

вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, Україна, 49600

1. Вступ

Вода виконує важливу фізіологічну роль для живих організмів та виступає основним активатором мікробіологічних, біохімічних та фізико-хімічних процесів в технологіях виробництва харчової і кормової продукції. Регуляція властивостей води дозволяє впливати на хід технологічного процесу [1]. Використання фізико-хімічних методів обробки води є досить перспективним, оскільки за рахунок такої попередньої підготовки води можлива направлена зміна її характеристик залежно від потреб виробництва [2, 3]. Серед відомих методів обробки води комплексного спрямування увагу привертає використання контактної нерівноважної низькотемпературної плазми [4–6]. Оскільки вода є основною складовою живих організмів суттєва зміна її властивостей потребує комплексної оцінки реакції тест-об'єктів для оцінки сукупної дії плазмохімічно активованої води на системи живих організмів.

Останнім часом все більшого значення набувають методи прямої оцінки токсичності водного середовища за допомогою біоіндикаторів. Актуальність використання біологічних об'єктів для біо- і фітотестування полягає, у першу чергу, у специфічній здатності організацій-

ної системи таких об'єктів рефлексувати на широкий спектр чинників різної природи [7]. Одним із методів оцінки біологічної рефлексії нетрадиційних методів обробки харчової сировини є газорозрядна візуалізація. Особливість такого методу полягає у використанні хімії високих енергій для регулювання характеристик води. Застосування методу газорозрядної візуалізації має різноформатні напрямки: рослинництво, медицина, фармакологічна галузь [8]. У свою чергу, поєднання різних експрес-методів дозволяє отримати більш вірогідні результати. Доцільність здійснення досліджень в цьому випадку має об'єктивні обґрунтування, що набуває науково-практичного значення. Наприклад, вивчення фізіологічного стану об'єкту біотестування передбачає здійснення цілої ланки послідовних досліджень. Використання декількох експрес-методів дозволить в більш стислі строки отримати результати.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Нетрадиційні методи обробки сировини в технологіях виробництва харчової і кормової продукції набирають все більшої популярності серед населення

завдяки їх можливості нівелювати негативні фактори впливу щодо формування якості кінцевого продукту протягом технологічного процесу [9]. У свою чергу, переваги створення екопродуктів є очевидними з точки зору споживача, який орієнтований на здорове харчування. Виробництво такої продукції виключає використання штучних поліпшувачів, потенційно-небезпечних інгредієнтів для людини [10, 11]. При цьому має зберігатися параметр економічної ефективності процесу за умови забезпечення мінімального навантаження на навколишнє середовище.

Застосування контактної нерівноважної низькотемпературної плазми для обробки води і водних розчинів має потенційні переваги використання у агропромисловому комплексі та виробництві харчової і кормової продукції. За рахунок плазмохімічної обробки вода набуває високої проникної здатності через утворення дрібнокластерної структури та появи додаткових можливостей щодо взаємодії із структурними компонентами [12]. Залежно від потреб виробничого процесу можливим є підтримання потрібних параметрів активної кислотності середовища [13]. Окремою характеристикою води, підданої дії контактної нерівноважної плазми, виступає наявність у її складі активного кисню у формі пероксидних і надперекисних сполук, забезпечуючи її антисептичні властивості. Підготовлена таким способом вода здатна пригнічувати патогенні та умовно-патогенні мікроорганізми [14]. Відомим є також факт позитивного впливу плазмохімічно активованої води на хлібопекарські пресовані дріжджі [15]. За умови культивування мікробіологічної культури з водою, підданою дії контактної нерівноважної плазми, відбувається збільшення кількості життєздатних клітин *Saccharomyces cerevisiae* у 10–15 разів.

У роботах [16, 17] підтверджено ефективність застосування плазмохімічно активованої води у різних харчових технологіях, зокрема, для виробництва хлібопекарської продукції. Такий технологічний підхід робить можливим одержання якісного продукту з високими споживчими якостями та підвищеною мікробіологічною стійкістю без використання штучних поліпшувачів.

Реакція живих організмів на досліджуваний фактор впливу має змогу відображати ефективність використання компонентів харчового ланцюга з огляду на біохімічний ефект та зміни характеристик об'єктів біотестування [18].

Наразі фактично відсутні є експериментальні дослідження щодо впливу такої води на біологічні об'єкти з огляду на можливість появи близьких і віддалених наслідків.

Визначення токсичності досліджуваної проби засноване на здатності тест-об'єктів реагувати на присутність у водному середовищі речовин, які можуть негативно позначатися на їх життєдіяльності. В Україні сьогодні відбувається гармонізація біотехнологічних методів, національного законодавства та стандартів з сучасними міжнародними вимогами. Акцент має той чинник, що здійснення контролю за виробництвом продукції має відбуватися послідовно впродовж всього харчового ланцюга [19]. Вже існуючі методи дещо поступаються сучасним, оскільки останні є більш інформативними, здійснюються у більш стислі строки і дозволяють на тлі отримання високої якості продукції

досягти ресурсозберігаючого ефекту. У літературних джерелах є інформація щодо вивчення токсичності з використанням *Decapoda*, *Paramecium caudatum*. При цьому основними інформативними параметрами є функціональна система життєздатності організмів, біохімічний, фізіологічний статус тощо [2, 20]. У роботах [20, 21] газорозрядна візуалізація (ГРВ) демонструє можливості отримання вірогідних результатів тестування об'єктів різної природи в експрес-режимі. На сьогодні одним із цікавих та інформативних методів діагностики є інтерпретація ГРВ-грамм (фотознімків) вивчаемого об'єкту. Це може бути різна структура води, живий організм тощо [21]. Слід зауважити, що у агропромисловому секторі така практика є малозастосованою в європейських країнах та фактично відсутньою в Україні. Наприклад, є відносно невеликий досвід використання методу інтерпретації ГРВ-грамм при визначенні біопотенціалу продукції у тваринництві [22].

Відомо, що фітотестування є ефективним методом визначення рівня екологічної безпеки чинників довкілля, вивчення токсичності речовин [18]. Наприклад, якість питної води формується певним чином під впливом саме таких чинників. Але інформація щодо здійснення науково-практичних експериментів з використанням фітоіндикаторів для визначення токсичності води, підданої дії контактної нерівноважної плазми відсутня. Тому в цьому аспекті обрана тематика досліджень є перспективною та набуває науково-практичної цінності в галузі сільського господарства і харчової промисловості.

3. Ціль та задачі дослідження

Метою проведених досліджень стало вивчення впливу води, підданої дії контактної нерівноважної низькотемпературної плазми, на біологічні об'єкти.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- провести біотестування на інфузоріях, при культивуванні яких використовували воду, піддану дії контактної нерівноважної плазми;
- визначити вплив плазмохімічно активованої води на фітопланктон і зоопланктон;
- вивчити зміни біологічного стану лускатого коропа за умов впливу додатково обробленої води;
- проаналізувати воду, піддану дії контактної нерівноважної плазми, методом газорозрядної візуалізації.

4. Матеріали та методи біотестування води, підданої дії контактної нерівноважної плазми

4.1. Характеристики плазмохімічно активованої води та обладнання, що використовувались для підготовки води

Обробка води контактною нерівноважною плазмою проводилася у лабораторії плазмохімічних технологій ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет» (Україна) на лабораторній установці дискретного типу з об'ємом реактора 0,1 дм³ (рис. 1). Для контрольних тест-груп біологічних об'єктів застосовували питну воду міської магістралі м. Дніпро (Україна).

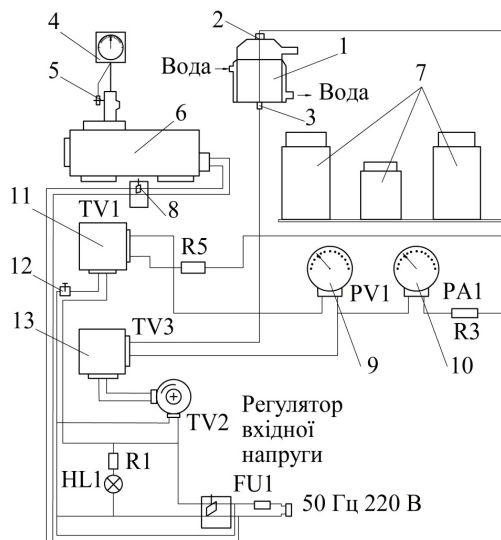


Рис. 1. Схема установки для плазмохімічної обробки води: 1 — реактор; 2, 3 — електроди; 4 — вакуумметр; 5 — кран; 6 — насос; 7 — фільтруючі елементи; 8 — вимикач; 9 — вольтметр; 10 — амперметр; 11 — трансформатор підпалу; 12 — вимикач; 13 — трансформатор напруги

Під час досліджень використовували магістральну воду без додаткової обробки і воду, піддану дії КНП (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристики магістральної та плазмохімічно активованої води

№ зразка	Тривалість дії КНП на воду, хв.	Концентрація пероксидних сполук, мг/л	pH води	Окисно-відновний потенціал, мВ
1	—	—	7,2	235
2	10	100	9,7	135
3	30	500	10,1	101

Концентрація пероксидних сполук у воді визначали за допомогою тест-смужок Peroxid-Test (Німеччина). Активну кислотність води та окисно-відновний потенціал встановлювали на рН-метрі EZODO MP-103 (Тайвань).

4. 2. Досліджувані тест-об'єкти

У якості тест-об'єктів було обрано фітопланктон, зоопланктон та гідробіонтів. Видовий склад вказаних об'єктів залежав від індивідуальних властивостей впливу на гідрохімічний склад води. Це надає можливість комплексно оцінити властивості плазмохімічно активованої води на організаційно-структурному рівні різних організмів.

Під час тестування фітопланктону вивчали рівень розвитку, пігментацію та біомасу річчії (*Riccia fluitans*), ряски малої (*Lemna minor* L.). Аналізували функціональний стан інфузорій (*Paramecium caudatum*), артемії (*Artemia salina*) з огляду на зміну рівня їх життєдіяльності. Хемотаксис організмів визначали візуальним спостереженням систематично згідно методики [18, 23].

У якості біологічних об'єктів у експериментальній частині були також використані цьоголітки коропа лу-

скаго (*Cyprinus carpio*). Підбір експериментальної та контрольної групи здійснювали за методом пар-аналогів. Здійснювали контроль за показником виживання коропів, швидкістю розвитку та шляхом візуального спостереження. Всі отримані результати обробляли статистично у MS Excel.

4. 3. Методика культивування гідробіонтів та визначення показників їх фізіологічної активності

Маточні культури фітопланктону культивували у акваріумній воді, потім додавали воду, оброблену контактною нерівноважною плазмою, шляхом здійснення заміни такою водою 70 % об'єму загальної акваріумної води. Впродовж експерименту систематично з кожної маточної культури відраховували по 10 листків *L. minor* *L. ma* *R. fluitans* (робочої культури). Зразки розміщували у 3 чашки Петрі та експонували 12 діб у умовах 6–8 годинного освітлення. На 3, 6, 9 і 12 добу визначали кількість листків ряски у кожній чашці. По закінченню культивування здійснювали вимірювання, фіксували максимальну довжину корінців і рівень пігментації. Фітотоксичний ефект (E_r) для всіх досліджувальних проб води обчислювали за методикою [18].

При вивченні впливу плазмохімічної активованої води на стан фітопланктону у хімічні пробірки з підготовленою водою у відповідності до експерименту, були розміщені дві культури (ряска мала та річчія). Щодооби здійснювали контроль за рівнем пігментації та розвитком їх кореневої системи.

Культивування інфузорії *Paramecium caudatum* здійснювали в акваріумах та інкубаційному апараті Вейса. Використовували тест-набір для здійснення біотестування, аератори, лабораторний мікроскоп, предметно скло. Досліджувану воду, оброблену контактною нерівноважною плазмою, додавали в кожную пробу шляхом заміни 70 % загальної кількості акваріумної води. Траєкторію руху інфузорій, їх перерозподіл у кюветах з плазмохімічно активованою водою досліджували за хемотоксичною реакцією.

Загалом при використанні одноклітинних водоростей та інфузорій в якості тест-об'єктів проводили контроль за показником їх виживання, зміни чисельності клітин у культурі, коефіцієнтом поділу клітин, швидкості росту, рівня пігментації. Показник токсичності води досліджували на основі визначення відсоткового співвідношення інфузорій, що зберегли життєві функції та переміщалися у верхню зону кювети (рис. 2). Візуальний контроль здійснювали з використанням мікроскопу, кювети та предметного скла.

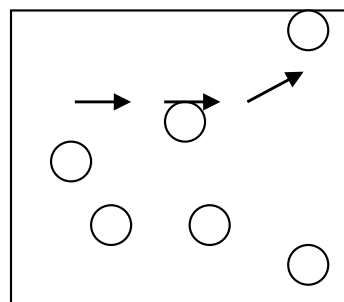


Рис. 2. Методика схематичного обліку інфузорій при дослідженні впливу плазмохімічно активованої води

При культивуванні артемій використовували міні-акваріуми з підготовленою екосистемою, аерацією, гідрохімічним режимом. Науплії артемій розміщували напередодні початку експерименту в акваріуми з розбавленою плазмохімічно активованою водою у кількості 90 % до акваріумної. У контрольних групах використовували магістральну воду без додаткової підготовки. Стан артемій, які вилупилися, оцінювали візуально і контролювали рівень їх функціональної активності мікроскопіюванням.

Цьоголіток коропа лускатого культивували у магістральній дехлорованій воді та у середовищі води, попередньо підданій дії контактної нерівноважної плазми, яку вводили у кількості 70 % об'єму акваріумної води. Вплив плазмохімічної води на коропа лускатого оцінювали за виживанням, що фіксували на 1, 2 і 3 тижень експерименту, змінами загальної етології в акваріумах та швидкістю розвитку. Особливістю підготовки дослідних груп риби було використання у якості корму ряски, культивованої у воді, попередньо підданій дії контактної нерівноважної плазми.

4. 4. Методика визначення біоенергетичного потенціалу плазмохімічно активованої води газорозрядною візуалізацією

Виявлення електричного розряду світіння на поверхні предметів, які знаходяться в змінному електричному полі високої частоти, реалізували шляхом використання обладнання GDV Scientific Laboratory. Визначення рівня випромінювання проводили для крапель води без додаткової обробки та з попередньою обробкою контактною нерівноважною плазмою. Отримані в результаті ГРВ-грами (фотознімки оброблені програмним забезпеченням GDV Scientific) інтерпретували за інтенсивністю і безколіровою гамою та проводили статистичний аналіз отриманих даних.

5. Результати досліджень впливу плазмохімічно активованої води на біо-індикаторні організми

Характер руху та резистентність об'єктів біотестування залежали від структурних особливостей води, хімічного складу середовища. *Paramecium caudatum* широко використовується для оцінки хронічної токсичності медичних препаратів та харчових добавок [7]. Як видно з рис. 3, в усіх досліджуваних групах ступінь виживання інфузорій становила 87–89,5 %.

При цьому у дослідній групі 1, де одноклітинні організми культивувалися у середовищі води, підданій дії контактної нерівноважної плазми протягом 10 хв., тестована речовина відповідала класу «нетоксична». Аналогічно для дослідної групи організмів, що виступали тест-об'єктами для плазмохімічно активованої води з концентрацією пероксидних сполук 500 мг/л, цей показник був дещо нижчим, але також відносився до класу «нетоксичний».

Artemia salina є високочутливим гідробіонтом, яка застосовується в аквакультури в якості природного корму для риб. Дані організми особливо чутливі до змін водного середовища під час вилуплення науплій. Параметри гідрохімічного режиму корегують їх вилуплення та життєву активність. Культивування науплій артемій у середовищі плазмохімічно активованої

води показало зміну показника їх вилуплення, рівня здатності зберігати життєву активність, рухливість в перші дні життя після вилуплення. Зокрема, значно вищий рівень вилуплення спостерігався при культивуванні *Artemia salina* у воді, попередньо підданій дії контактної нерівноважної плазми (рис. 4). При цьому у випадку використання плазмохімічно активованої води з концентрацією пероксидних сполук у кількості 500 мг/л кількість життєздатних організмів зростала на 60–70 % у порівнянні з використанням магістральної води без попередньої обробки.

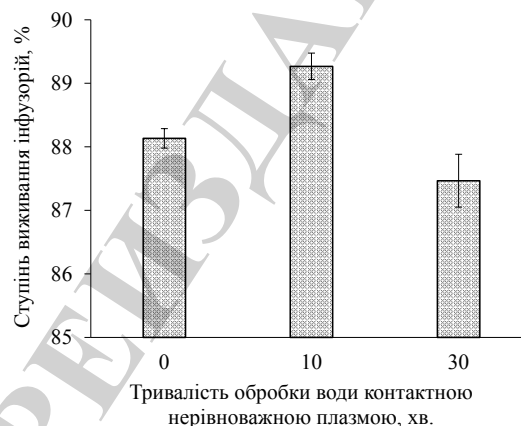


Рис. 3. Вивчення показника токсичності *Paramecium caudatum*

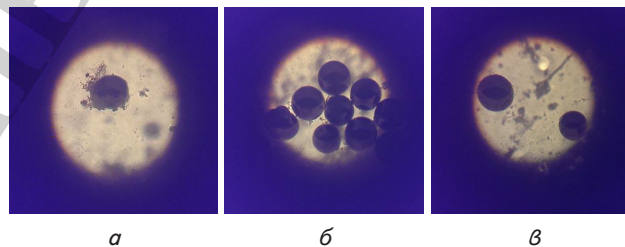


Рис. 4. Функціональний статус науплій *Artemia salina*, культивованої у воді, підданій дії контактної нерівноважної плазми протягом, хв.: а – 0, б – 10, в – 30

Фітопланктон *Riccia fluitans* і *Lemna minor* L. є безпосередніми складовими екосистеми. Оскільки природним середовищем існування фітопланктону є вода, надзвичайно важливим є її гідрохімічний стан. При культивуванні ряски малої та річчії у середовищі плазмохімічно активованої води встановлені відмінності у тенденціях розвитку фітопланктону залежно від тривалості обробки води. Результати виміру біометричних показників культури ряски малої (рис. 5) показали, що довжина коренців (L_{max}) в контрольній групі була найменшою в порівнянні з вказаним показником у дослідних групах.

Результати впливу плазмохімічно активованої води на ряску в дослідній групі 2 були вірогідними в порівнянні з іншими групами. У той же час, у дослідній групі 1 була відмічена лише тенденція до збільшення вивчаемого показника. Інтенсивність розвитку кореневої системи тест-об'єктів зростала на 7–12 і 28–39 % порівняно із контрольною групою у випадку використання води, підданій дії плазми 10 і 30 хв. відповідно. Було відмічено зниження інтенсивності забарвлення фітопланктону в дослідних групах. Значення фітотоксично-

го ефекту в дослідних групах не перевищувало 20 %, у той час як для контролю цей показник становив 30 %.

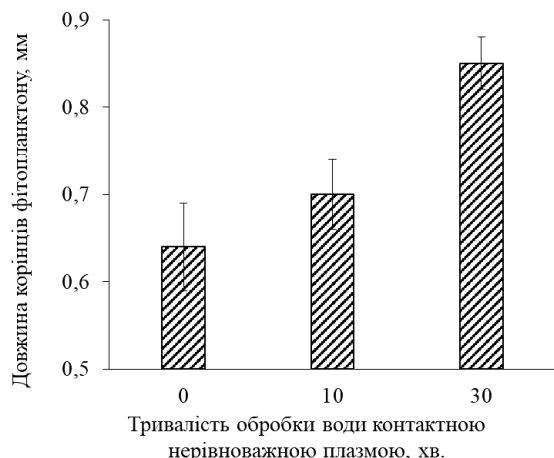


Рис. 5. Вплив плазмохімічно активованої води на культуру *Lemna minor* L.

Короп лускатий *Cyprinus carpio* за своєю природою належить до складно організованих гідробіонтів, які мають трофічну пластичність. Ця риба харчується різними формами зоопланктону і є добре адаптованою до споживання комбікорму. Фізіологічний стан і розвиток даних гідробіонтів знаходиться у прямій залежності від екологічних умов вирощування, зокрема водної екосистеми. Введення до раціону лускатого коропа артемій, ряски і річчії, попередньо культивованих у плазмохімічно активованій воді, призводило до прискорення росту риб. Підгодівля гідробіонтів природними кормами, обробленими плазмохімічною водою, також позитивно впливала на показник виживання (рис. 6). Показник швидкості росту в онтогенезі в дослідній групі 2 був відмічений як найвищий серед всіх груп. За перший тиждень досліджень, значення на 2 % перевищувало показник в контрольній групі. У дослідній групі 1 різниця у швидкості росту риб становила лише 1,5 % по відношенню до контрольної групи.

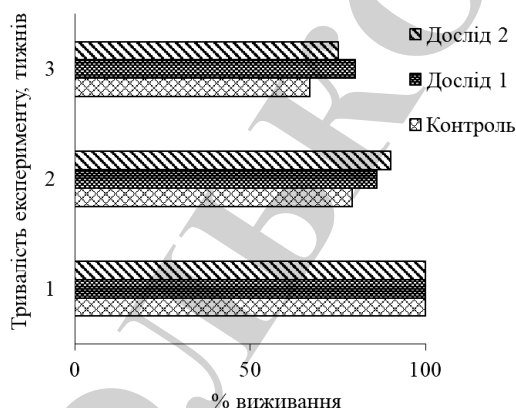


Рис. 6. Виживання *Cyprinus carpio* залежно від культивованого середовища і особливостей раціону, $n=6$

При порівнянні маси тіла *Cyprinus carpio* наприкінці третього тижня було встановлено, що в дослідних групах 1 і 2 особи мали вищі значення порівняно з контрольною групою на 3,5 та 6,3 % відповідно. Для всіх досліджуваних зразків кількість екземплярів ко-

ропа, що залишались життєздатними, знижувалась в середньому на 33 % порівняно із першим тижнем досліджень. У той же час у дослідних групах 1 і 2 риба мала на 13 та 8 % вищий показник порівняно з контролем через два і три тижні експерименту відповідно.

Використання газорозрядної діагностики при вивченні біопотенціалу плазмохімічно активованої води дозволило більш об'єктивно проаналізувати її характеристики (табл. 2, рис. 7).

Таблиця 2

Результати визначення біопотенціалу води

Показники	Тривалість обробки води контактною нерівноважною плазмою, хв.		
	0	10	30
Права проекція, ентропія	$3,8 \pm 0,027$	$3,8 \pm 0,039$	$3,6 \pm 0,028$
Ліва проекція, ентропія	$4,0 \pm 0,066$	$4,1 \pm 0,086$	$3,3 \pm 0,036$
Права проекція, площа	$17123 \pm 41,1$	$17869 \pm 41,3$	$18250 \pm 35,1$
Ліва проекція, площа	$16164 \pm 65,1$	$16354 \pm 65,7$	$19987 \pm 54,9$

При обробці результатів враховували, що газовий розряд, що виникає під час аналізу проби, чинить вплив на стан об'єкту дослідження, викликаючи вторинні емісійні і теплові процеси [24]. Приймач випромінювання перетворює просторовий розподіл освітленості в зображення (рис. 7), аналіз якого призводить до формування набору параметрів. Серед чималої кількості параметрів, які були оброблені програмним забезпеченням «GDV Capture» (Канада) були відібрані основні за критерієм цифрового значення: ентропія і площа випромінювання у двох проекціях. Показники правої і лівої проекції контрольної і дослідної зразків показали вірогідну різницю між собою у випадку аналізу зразка води, підданого дії плазми протягом 30 хв. (табл. 2). Різниця результатів дослідження між магістральною водою без додаткової обробки і водою, що оброблялась плазмою 10 хв., знаходилась в межах похибки вимірювань. Як видно з приведених у табл. 2 даних, плазмохімічно активована вода збільшеної до 30 хв. тривалості експозиції має знижений у порівнянні з контрольним зразком показник ентропії.

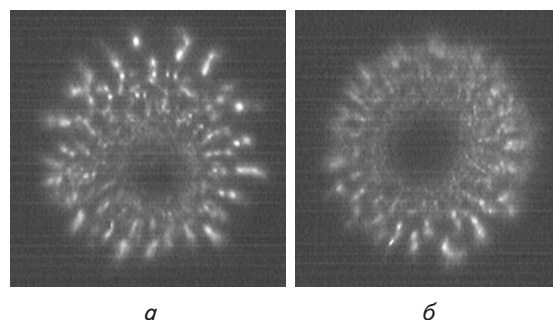


Рис. 7. ГРВ-грама біопотенціалу: а – магістральної води; б – плазмохімічно активованої води

Зафіксована інтенсивність випромінювання води на ГРВ-грамі демонструє, що після обробки контактної нерівноважною плазмою зменшується форма

«корони світіння» та її площа. Плазмохімічно активована вода характеризувалась вищими променями випромінювання та мала більш широкий спектр, що свідчить про підвищення її біопотенціалу порівняно із контролем.

6. Обговорення результатів біотестування плазмохімічно активованої води з огляду на зміни фізіологічної активності тест-об'єктів

Результати систематичного контролю, візуального спостереження за розвитком двох представників фітопланктону – річчії та ряски малої – показали, що така вода сприяє активації метаболічних процесів в рослинах, зміні їх пігментації. Отримані результати надають підстави щодо доцільності використання в якості індикаторів фітопланктону при вивченні властивостей плазмохімічно активованої води. Виявлена різниця між впливом води без обробки та плазмохімічно активованої води дозволяє відмітити позитивну активуючу дію води, підданої дії контактної нерівноважної низькотемпературної плазми, на інтенсивність розвитку фітопланктону. У доступній літературі в повному обсязі відсутня інформація щодо експериментальних досліджень саме з використанням об'єкту фітотестування та такої води. Тому доцільним, враховуючи позитивні результати, буде розширити спектр вивчаємих показників та продовжити дослідження в цьому напрямку.

Біотестування зоопланктону вказує на можливість використання води, підданої дії контактної нерівноважної плазми, при інкубації науплій артемій як адаптогену та способу підвищення відсотка вилуплення науплій. Подібні експериментальні дослідження з використанням у якості екосистеми плазмохімічно активованої води не проводилися. Тому даний напрям має науково-практичну актуальність та надає підстави й надалі продовжувати експериментальні дослідження. Очевидно, що підвищення рівня вилуплення науплій при культивуванні зоопланктону має промислове значення [25] як фактор інтенсифікації виробничих процесів.

При культивуванні лускатого коропа в контрольній групі з використанням магістральної води без попередньої обробки було встановлено найнижчий відсоток виживання. У той же час загальний функціональний стан організму коропів, які знаходилися у воді, підданої дії контактної нерівноважної низькотемпературної плазми, був зафіксований як вищий, ніж в контрольній групі. В аквакультури здійснюються дослідження щодо впливу чималої кількості чинників, розчинів, добавок на гідробіоти. Є результати науковців про позитивний вплив таких речовин різної природи, втім, використання запропонованого методу в даній роботі при вирощуванні цього літо коропа не відмічено в наукових публікаціях інших авторів.

Виявлений вплив плазмохімічно активованої води на життєдіяльність фітопланктону, зоопланктону та складноорганізованих гідробіотів – риб – напряму пов'язаний зі зміною біопотенціалу води. Об'єктам ГРВ-діагностики може бути біологічна рідина, рослинний або тваринний організм, біологічно активна добавка у якості компонента харчового продукту тощо. Так, авторами [2] було відмічено суттєві відмінності

випромінювання краплі води після фільтрації та зміни агрегатного стану із твердого на рідкий порівняно із магістральною водою. У роботах [20, 24] встановлено, що газорозрядна візуалізація фіксувала зворотно пропорційний зв'язок між фізіологічним станом організму і показником ентропії в результаті проведеного тестування.

Результати проведених досліджень вказують на зміну положення одного структурного елементу (молекули води) під впливом чинників фізико-хімічної природи, яким у даному випадку, виступає контактна нерівноважна низькотемпературна плазма. Слід припустити, що це відбувається за рахунок зміни орієнтації молекул, які локалізуються одна поряд з одною, що очевидно, виступає додатковим підтвердженням формування дрібнокластерної структури води [5]. Ненормованість поверхні і об'єму досліджуваного об'єкта, процеси емісії заряджених частинок впливає та може корегувати певні параметри електромагнітного поля, за рахунок чого змінюються характеристики струму розряду і оптичного випромінювання. Отже ГРВ-діагностика дозволила встановити підвищення біоенергетичного потенціалу об'єкту тестування експрес-методом, що, у свою чергу, надає змогу обґрунтувати появу активізуючих функцій води, підданої дії контактної нерівноважної плазми, щодо біологічних об'єктів.

Запропонований комплексний підхід до дослідження та отримані результати в ході експериментів вказують, що надходження до організму гідробіотів плазмохімічно активованої води не викликає пригнічення їх життєдіяльності. Позитивна динаміка змін вивчаємих показників свідчить, що оброблена вода здатна виступати активатором каталітичних процесів. Цілком ймовірно, що вплив такої води на організм тест-об'єктів може мати адаптаційну, гепатопротекторну, імуномодельуючу дію. Втім, для ствердження наявності таких властивостей необхідно розширити дослідження у напрямку визначення перетворень біологічних об'єктів на клітинному рівні. Очевидно, що після обробки води контактною нерівноважною плазмою така вода здатна чинити позитивний вплив на перебіг адаптаційно-компенсаторних механізмів у живих організмах, що, в свою чергу, позначається на показниках загального функціонального та фізіолого-біохімічного стану. Тому наступні дослідження слід спрямувати на вивчення впливу зазначених чинників на морфо-функціональні показники та механізми перебігу метаболічних процесів в організмі гідробіотів.

Проведення подальших досліджень було б доцільним щодо можливості розширення спектру вивчення впливу такої води на біологічні об'єкти. Такий підхід має забезпечити наукове підґрунтя для впровадження запропонованого способу обробки води у харчовий ланцюг. Це надасть можливість удосконалення технологічних процесів виробництва харчової і кормової продукції.

7. Висновки

1. При культивуванні інфузорій у середовищі з водою, підданою дії контактної нерівноважної плазми, встановили, що в усіх групах ступінь виживання інфузорій становила 87–89,5 %. Значення показника дещо

відрізнялося між дослідними та контрольною групами, але відносилось до класу «нетоксичне».

2. За умов використання плазмохімічно активованої води з концентрацією пероксидних сполук у кількості 500 мг/л кількість життєздатних організмів зоопланктону зростала на 60–70 % у порівнянні з використанням магістральної води без попередньої обробки. Позитивний вплив плазмохімічно активованої води позначився на показнику вилуплення представників зоопланктону. При культивуванні ряски малої та річчії у середовищі плазмохімічно активованої води були встановлені відмінності у тенденціях розвитку фітопланктону залежно від тривалості обробки води. Інтенсивність розвитку кореневої системи фітопланктону зростала на 7–12 і 28–39 % порівняно із контрольною групою у випадку використання води, підданої дії плазми 10 і 30 хв. відповідно.

3. Введення до раціону лускатого коропа артемій, ряски і річчії, попередньо культивованих у плазмохіміч-

но активованій воді, призводило до прискорення росту риб. Встановлені позитивні зміни в дослідних групах 1 і 2, риба мали вищі значення швидкості росту порівняно з контрольною групою на 3,5 та 6,3 % відповідно.

4. Використання методу ГРВ-діагностики дозволило встановити, що вода, піддана дії контактної нерівноважної плазми, має вищі промені випромінювання. Аналіз ГРВ-грам показав, що обробка води контактною нерівноважною плазмою призводить до підвищення біопотенціалу.

Подяки

Дослідження були проведені за підтримки гранту України для молодих вчених за держбюджетною темою № 0116U007412. Автори також виражають вдячність за допомогу у проведенні лабораторних досліджень аспіранту Соколову В. Ю.

Література

1. Qu, X. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment [Text] / X. Qu, P. J. J. Alvarez, Q. Li // *Water Research*. – 2013. – Vol. 47, Issue 12. – P. 3931–3946. doi: 10.1016/j.watres.2012.09.058
2. Korotkov, K. G. Application of Electrophoton Capture (EPC) Analysis Based on Gas Discharge Visualization (GDV) Technique in Medicine: A Systematic Review [Text] / K. G. Korotkov, P. Matravers, D. V. Orlov, B. O. Williams // *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*. – 2010. – Vol. 16, Issue 1. – P. 13–25. doi: 10.1089/acm.2008.0285
3. Garvey, M. Ecotoxicological assessment of pulsed ultraviolet light-treated water containing microbial species and *Cryptosporidium parvum* using a microbiotest test battery [Text] / M. Garvey, J. Hayes, E. Clifford, N. Rowan // *Water and Environment Journal*. – 2013. – Vol. 29, Issue 1. – P. 27–35. doi: 10.1111/wej.12073
4. Martinez-Huitle, C. A. Electrochemical Alternatives for Drinking Water Disinfection [Text] / C. A. Martinez-Huitle, E. Brillas // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2008. – Vol. 74, Issue 11. – P. 1998–2005. doi: 10.1002/anie.200703621
5. Pivovarov, A. A. Contact nonequilibrium plasma as a tool for treatment of water and aqueous solutions: Theory and practice [Text] / A. A. Pivovarov, A. V. Kravchenko, A. P. Tishchenko, N. V. Nikolenko, O. V. Sergeeva, M. I. Vorob'eva, S. V. Treshchuk // *Russian Journal of General Chemistry*. – 2015. – Vol. 85, Issue 5. – P. 1339–1350. doi: 10.1134/s1070363215050497
6. Naitali, M. Combined Effects of Long-Living Chemical Species during Microbial Inactivation Using Atmospheric Plasma-Treated Water [Text] / M. Naitali, G. Kamgang-Youbi, J.-M. Herry, M.-N. Bellon-Fontaine, J.-L. Brisset // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2010. – Vol. 76, Issue 22. – P. 7662–7664. doi: 10.1128/aem.01615-10
7. Верголяс, М. Р. Токсическое влияние тяжелых металлов на организм гидробионтов [Текст] / М. Р. Верголяс, В. В. Гончарук // *Journal of Education, Health and Sport*. – 2016. – Vol. 6, Issue 6. – P. 436–444.
8. Масленников, П. В. Использование метода газоразрядной визуализации при оценке антиоксидантного статуса растений в условиях токсического действия кадмия [Текст] / П. В. Масленников, Г. Н. Чупахина, А. Г. Краснощёров // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. – 2013. – Вып. 7. – С. 14–21.
9. Malik, M. A. Water Purification by Plasmas: Which Reactors are Most Energy Efficient? [Text] / M. A. Malik // *Plasma Chemistry and Plasma Processing*. – 2009. – Vol. 30, Issue 1. – P. 21–31. doi: 10.1007/s11090-009-9202-2
10. Huang, Y.-R. Application of electrolyzed water in the food industry [Text] / Y.-R. Huang, Y.-C. Hung, S.-Y. Hsu, Y.-W. Huang, D.-F. Hwang // *Food Control*. – 2008. – Vol. 19, Issue 4. – P. 329–345. doi: 10.1016/j.foodcont.2007.08.012
11. Pelletier, J. E. Positive Attitudes toward Organic, Local, and Sustainable Foods Are Associated with Higher Dietary Quality among Young Adults [Text] / J. E. Pelletier, M. N. Laska, D. Neumark-Sztainer, M. Story // *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*. – 2013. – Vol. 113, Issue 1. – P. 127–132. doi: 10.1016/j.jand.2012.08.021
12. Півоваров, О. А. Мікроструктурні особливості тіста на основі розчинів, підданих дії контактної нерівноважної плазми [Текст] / О. А. Півоваров, С. Ю. Миколенко, Г. П. Тищенко // *Харчова наука і технологія*. – 2012. – № 1. – С. 67–70.
13. Issa-Zacharia, A. Application of slightly acidic electrolyzed water as a potential non-thermal food sanitizer for decontamination of fresh ready-to-eat vegetables and sprouts [Text] / A. Issa-Zacharia, Y. Kamitani, N. Miwa, H. Muhimbula, K. Iwasaki // *Food Control*. – 2011. – Vol. 22, Issue 3-4. – P. 601–607. doi: 10.1016/j.foodcont.2010.10.011
14. Мыколенко, С. Ю. Повышение микробиологической устойчивости хлебопекарной продукции с применением плазмохимических технологий [Текст] / С. Ю. Мыколенко, А. А. Пивоваров, А. П. Тищенко // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2014. – Т. 2, № 12 (68). – С. 30–36. doi: 10.15587/1729-4061.2014.23712
15. Mykolenko, S. Investigation of the effect of water exposed to nonequilibrium contact plasma onto *Saccharomyces cerevisiae* yeast [Text] / S. Mykolenko, D. Stepanskiy, A. Tishchenko, O. Pivovarov // *Ukrainian Food Journal*. – 2014. – Vol. 3, Issue 2. – P. 218–227.

16. Misra, N. N. Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens [Text] / N. N. Misra, B. K. Tiwari, K. S. M. S. Raghavarao, P. J. Cullen // Food Engineering Reviews. – 2011. – Vol. 3, Issue 3-4. – P. 159–170. doi: 10.1007/s12393-011-9041-9
17. Миколенко, С. Ю. Дослідження технологічних аспектів виробництва хліба із диспергованої зернової маси з використанням додаткової підготовки сировини [Текст] / С. Ю. Миколенко, В. Ю. Соколов, В. В. Пенькова // Зернові продукти і комбікорми. – 2016. – № 4 (64). – С. 10–15.
18. Morgalev, Y. N. Biotesting nanomaterials: Transmissibility of nanoparticles into a food chain [Text] / Y. N. Morgalev, N. S. Khoch, T. G. Morgaleva, E. S. Gulik, G. A. Borilo, U. A. Bulatova et. al. // Nanotechnologies in Russia. – 2010. – Vol. 5, Issue 11-12. – P. 851–856. doi: 10.1134/s1995078010110157
19. Гончарова, О. В. Гармонізація та біотехнологічне оновлення методів детермінації якості біологічної продукції [Текст] / О. В. Гончарова, А. М. Пугач // Молодий вчений. – 2016. – № 9 (36). – С. 111–114.
20. Коротков, К. Г. Принципы анализа в ГРВ биоэлектрографии [Текст] / К. Г. Коротков. – СПб.: Реноме, 2007. – 286 с.
21. Vainshelboim, A. GDV Technology Applications for Cosmetic Sciences [Text] / A. Vainshelboim, M. Hayes, K. S. Momoh, C. Raatsi, S. Peirce, K. Korotkov, N. Prijatkin // 18th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems (CBMS'05). – 2005. doi: 10.1109/cbms.2005.56
22. Пат. № 111577 UA. Спосіб визначення живих зародків в період інкубації яєць. МПК G01N 33/08, A01K 43/00 [Текст] / Кобець А. С., Гончарова О. В., Пугач А. М.; власники патенту Кобець А. С., Гончарова О. В., Пугач А. М. – № u201606065; заявл. 03.06.2016, опубл. 10.11.2016, Бюл. № 21.
23. Методика визначення гострої летальної (КНД 211.1.4.055-97) і хронічної (КНД 311.1.4.056-97) токсичної води на ракоподібних *Ceriodaphnia affinis* Lilljebord [Текст]. – К., 1997. – 17 с.
24. Коротков, К. Г. Применение метода ГРВ-биоэлектрографии в медицине (обзор литературы) [Текст] / К. Г. Коротков, К. Г. Яковлева // Вестник Санкт-Петербургского университета. – 2014. – № 2. – С. 175–187.
25. Shields, R. J. Larviculture of marine finfish in Europe [Text] / R. J. Shields // Aquaculture. – 2001. – Vol. 200, Issue 1-2. – P. 55–88. doi: 10.1016/s0044-8486(01)00694-9